

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平9-97457

(43)公開日 平成9年(1997)4月8日

(51)Int.Cl. ⁹	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
G 1 1 B 9/02		9075-5D	G 1 1 B 9/02	
H 0 1 L 49/00			H 0 1 L 49/00	

審査請求 未請求 請求項の数14 O L (全 12 頁)

(21)出願番号	特願平7-253822	(71)出願人	000002185 ソニー株式会社 東京都品川区北品川6丁目7番35号
(22)出願日	平成7年(1995)9月29日	(72)発明者	藤原 一郎 東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニ ー株式会社内
		(74)代理人	弁理士 松隈 秀盛

(54)【発明の名称】 記録再生装置

(57)【要約】

【課題】 高記録密度、高速記録再生を可能にする。

【解決手段】 針状電極よりなるヘッドにより情報の記録または再生を行う記録再生装置において、ヘッドから電圧を印加することにより記録媒体の所定領域の分極反転を生じさせることにより、空間電荷層の量を制御することにより情報を記録または消去し、所定領域の空間電荷層の記録情報を、この領域における電荷または容量の変化量として検出することにより再生する。

【特許請求の範囲】

【請求項1】 針状電極よりなるヘッドにより情報を記録または再生する記録再生装置において、

ヘッドから電圧を印加することにより記録媒体の所定領域の分極反転を生じさせることにより、空間電荷層の量を制御することにより情報を記録または消去し、上記所定領域の空間電荷層の情報を、該領域における電荷または容量の変化量として検出することにより、再生することを特徴とする記録再生装置。

【請求項2】 請求項1において、上記ヘッドとして少なくとも記録用および再生用の共通のヘッドとしたことを特徴とする記録再生装置。

【請求項3】 請求項1において、上記ヘッドとして少なくとも記録用および再生用の2種を有することを特徴とする記録再生装置。

【請求項4】 請求項1において、上記再生をヘッドが上記記録媒体に対して非接触状態で行うことを特徴とする記録再生装置。

【請求項5】 請求項1において、情報の記録は上記ヘッドを上記記録媒体に接触させて行うことを特徴とする記録再生装置。

【請求項6】 上記記録または消去を、上記ヘッドに20V以下の電圧を印加することにより行い、上記記録媒体の単位記録領域は直径100nm以下であることを特徴とする記録再生装置。

【請求項7】 請求項1において、単位記録領域の記録再生時間を、 $1\mu s$ 以下とすることを特徴とする記録再生装置。

【請求項8】 請求項1において、上記記録または再生を、上記記録媒体を回転させて行うことを特徴とする記録再生装置。

【請求項9】 請求項1において、上記記録媒体が、強誘電体層を具備することを特徴とする記録再生装置。

【請求項10】 請求項1において、上記記録媒体が、シリコン基板上にバッファ層を介して強誘電体層が形成されたことを特徴とする記録再生装置。

【請求項11】 請求項1において、上記記録媒体は、最上層に保護層を有することを特徴とする記録再生装置。

【請求項12】 請求項9において、上記強誘電体層が、ジルコン酸チタン酸鉛よりなることを特徴とする記録再生装置。

【請求項13】 請求項9において、上記強誘電体層が、ビスマス層状化合物よりなることを特徴とする記録再生装置。

【請求項14】 請求項9において、上記強誘電体材料は、高分子強誘電体材料よりなることを特徴とする記録再生装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、画像情報、大容量のデータ情報等の超高密度記録を行うことができる新規な少なくとも記録および再生を行う、あるいは記録情報の再生のみを行う記録再生装置に係わる。

【0002】

【従来の技術】マルチメディア社会、特にハイビジョンシステムおよび高度情報通信システム、コンピュータネットワーク、ビデオオンデマンド、インフォメーションデマンドなどに必要とされる大容量の画像情報、データファイルにおいて高速な記録再生装置の要求が益々高まっている。

【0003】従来のランダムアクセスが可能な高密度記録技術には、磁気記録、光記録、半導体メモリ等がある。

【0004】半導体メモリではその集積度が年々向上しているにもかかわらず、半導体メモリの製造技術の例えばフォトリソグラフィの限界から、高精細度の画像情報を記録するだけの容量を満たすような、すなわち少なくとも3Gバイト以上の容量を満たすような半導体メモリを得るには至っていない。

【0005】光記録磁気記録において、大容量の情報を記録するには記録領域を小さくして、記録密度を向上させることが必要である。この光記録においても、その記録領域を小さくする試みはなされているが、波長500nm付近の半導体レーザー光源が開発された場合でも、物理的な限界、光の回折限界が存在するため直径100nm以下の記録領域を実現することは難しいとされている。

【0006】また、磁気記録においても、特にハードディスクにおいて記録密度の向上が著しいが、再生ヘッドの感度の問題で100nm以下の記録領域を達成することは難しい。

【0007】一方、原子分子レベルの空間分解能を持つ走査トンネル顕微鏡（STM：Scanning Tunneling Microscope）、原子間力顕微鏡（AFM：Atomic Force Microscope）が開発され、種々の材料の微細表面形状の解析に適用され、表面解析装置として非常な成功を収めている。AFMでは試料とカンチレバーチップとの原子間相互作用をプローブとして用いているが、近年AFMは種々の物理量をプローブとして用いた走査型プローブ顕微鏡（SPM：Scanning Probe Microscope）として発展している。最近、これらの手段すなわち原子、分子にアクセスする手段を用いて、高密度メモリとしての実現可能性の検討がなされている。

【0008】これまでにSTMまたはAFMを用いて、高密度記録実現の試みの報告はなされているが、原理的な可能性が述べられているにとどまり、実用化に至っていない。

【0009】例えば、スタンフォード大学のクエート（Quate）氏等は、Si基体上にSiO₂膜およびSiN膜

を形成したNOS($\text{SiN}/\text{SiO}_2/\text{Si}$)構造による記録媒体を用いてAFMの発展系である走査型容量顕微鏡(SCM: Scanning Capacitance Microscope)構成によって高密度メモリへの応用の可能性を示した(R.C. Barret and C.F. Quate; Journal of Applied Physics, 70 2725-2733 (1991) 参照。)

【0010】ところで、図10に示すように、 n 型Si基体1上に、熱酸化による SiO_2 膜2および熱CVD法(化学的気相成長法)によるSiN膜3を被着形成し、このSiN膜3上に金属電極4が被着されたいわゆるMNOS(Metal Nitride Oxide Semiconductor)系の記録媒体は、不揮発性半導体メモリの1つであるEEPROM(Electrically Erasable Read Only Memory)ですでに実用化されている。

【0011】これらNOS系、MNOS系記録再生の基本は、半導体と、 SiO_2/SiN 界面のトラップとの間の電荷の移動を用いることである。

【0012】すなわち、この層構造で SiO_2/SiN 界面にキャリアのトラップが形成されることが分かっており、例えば図10のMNOS系においてSiN膜3上の金属電極4(以下上部電極という)に正電圧を掛けると、強電界によりSi基体1側から電子が SiO_2 膜2をトンネルして、 SiO_2/SiN 界面に注入されてこの界面に存在するトラップに蓄積される。一方、上部電極4に負電圧を掛けると、逆向きの強電界により SiO_2/SiN 界面にトラップされている電子がSi基体1側に SiO_2 膜2をトンネルして、逆注入されて SiO_2/SiN 界面トラップに存在する電子が欠乏する。このようにして、MNOS記録媒体への電気パルス印加に伴う電荷の移動により記録、消去を行っている。そして、この記録媒体からの記録情報の読み出しすなわち再生は、この記録媒体すなわちMNOS構造キャパシタの静電容量の変化として電気的に読み出すという方法がとられる。

【0013】上述のクエート等の研究では、NOS媒体に導電性カンチレバーを接触させた状態で記録消去し、同様に導電性カンチレバーの接触状態でその記録情報に基づき容量変化を、容量センサーを用いて検出することによって再生するという方法がとられている。この方法による場合、現在実用化ないしは研究、開発がなされている光記録、あるいは磁気記録方法では不可能な微小領域での情報の記録再生、すなわち高密度記録が可能であることを示した。この場合記録媒体にはキャリア(電子)の移動を用いているものである。この場合、最小記録領域は、75nmであり、トラップに蓄積された電子は、7日間以上安定であった。

【0014】

【発明が解決しようとする課題】ところが、上述した高密度記録再生装置では、次に挙げる問題点がある。

(1) NOS材料の特徴として、情報の消去時に必要な時

間がms(ミリ秒)オーダー、電圧が40V(しきい値が25V)で、高速、低電圧駆動を充分満たすものではない。

(2) 情報の再生すなわち容量変化の読み出しは、メタルコートされたカンチレバーを記録媒体に接触させて動作させていることから、カンチレバーすなわちヘッドの記録媒体との接触による摩擦磨耗が大きい。

(3) SiO_2/SiN 界面に電荷が蓄積された場合、電荷によりSi基体側に空乏層が誘起され、この空乏層により容量が大きくなり、記録領域が再生時に実効的に大きくなってしまう。

(4) 情報の再生は、記録媒体の容量変化を、カンチレバーの直後に設けたキャパシタセンサで検出しているが、この系での記録媒体表面形状に極めて敏感であり、特に場合によっては浮遊容量が大きくなる可能性があり、信号のS/Nが劣化する。

【0015】また、従来の容量変化検出方式を再生に用いる方式の記録再生装置では静電容量型(CED)または高密度記録が可能ないわゆるVHDビデオディスク等がある。しかし、これを大容量の記録媒体とするには記録密度が低く、また再生専用であって記録消去の機能を有するものではない。

【0016】また、高分子誘電体層を有する記録媒体を用いた記録再生装置の報告もなされているが、記録消去に必要な動作電圧が50V以上にもなるため、現実的な系に適用することは困難である。

【0017】本発明においては、上述した諸問題の解決をはかり、高記録密度、高速記録再生を可能にした記録再生装置を提供する。

【0018】

【課題を解決するための手段】本発明は、針状電極よりなるヘッドにより情報の記録または再生を行う記録再生装置において、ヘッドから電圧を印加することにより記録媒体の所定領域の分極反転を生じさせることにより、空間電荷層の量を制御することにより情報を記録または消去し、所定領域の空間電荷層の記録情報を、この領域における電荷または容量の変化量として検出することにより再生する。

【0019】本発明の記録再生装置によれば、針状電極よるヘッドに低電圧印加により分極反転による空間電荷層の量の制御、具体的には空間電荷層の“蓄積状態”と“空乏状態”により情報を記録または消去を行うことができるものであり、またその再生は針状電極によるヘッドによって空間電荷層の記録情報を、この領域における電荷または容量の変化量として検出することから、高密度記録、高速記録再生が可能となる。

【0020】

【発明の実施の形態】本発明装置の実施形態を説明する。本発明においては、記録媒体として強誘電体薄膜記録媒体を用い、いわば走査型プローブ顕微鏡(SPM)方

式を基本構成とするものである。

【0021】図1は、本発明で用いる記録媒体10の基本構成を示し、半導体基板例えばシリコン基板11上にバッファ層等の下地層12および活性層13としての強誘電体薄膜層が成膜され、基板11の例えば裏面に下部電極層9が形成された構成である。

【0022】この活性層13としては、セラミックス強誘電体の例えばジルコン酸チタン酸塩(PZT)の例えば $\text{Pb}(\text{Zr}, \text{Ti})\text{O}_3$ 、Laドーパの $\text{Pb}(\text{La}, \text{Zr}, \text{Ti})\text{O}_3$ (PLZT)、Bi層状化合物の SrBiTiO_3 、 SrBiTaO_3 、 PbSrBiTiO_3 、 BaBiNbO_3 、 SrBiNbO_3 等、あるいは高分子強誘電体のフッ化ビニリデンとトリフルオロエチレン(VDF-TrFE)共重合体等によって構成する。

【0023】これらバッファ層12および活性層13は、例えばスパッタリング法、MOCVD(Metal Organic Chemical Vapor Deposition)法、分子線蒸着法、通常の蒸着法、MOD(Metal Oxide Deposition)法、レーザアブレーション法、ゾルゲル法、スピコート法などによって成膜できる。

【0024】記録媒体10に対する情報の記録は、次のようになされる。強誘電体の特徴は、自発分極を有し、その方向が電界によりコントロールできることであり、電界の方向に対して2つの双安定点をもち、電界を取り除いてもその状態を保持する。この双安定を利用して、デジタルデータの0および1に対応させ、両者の間を高速にスイッチングさせることにより半導体基板表面での基板側に形成される空間電荷層を“蓄積状態”と“空乏状態”とを、0と1とに対応させることによってその記録を行う。

【0025】この記録媒体10における静電容量の電圧依存性を図2に示す。静電容量は、電圧に対してヒステリシスを示している。これは強誘電体膜の自発分極の向きに対応して半導体基板表面に形成される空間電荷層の2つの状態、すなわち“蓄積状態”と“空乏状態”に対応している。このときの電圧のシフト量 ΔV は強誘電体膜の自発分極の大きさに依存している。

【0026】この記録媒体10に対する情報の記録手段の構成は、いわば原子間力顕微鏡(AFM)構成による。すなわち、記録ヘッドが、先端に針状電極を有するAFM制御の導電性カンチレバー構成とする。

【0027】この記録の消去は、導電性カンチレバーからの電界印加によって強誘電体の上述の自発分極を反転させることにより行うことができる。

【0028】そして、記録媒体10の記録情報の読み出しすなわち再生は、上述の局所的な分極反転がなされた領域と、されない領域との相違を、半導体基板側に形成される空間電荷層の容量変化または表面電位変化として検出することにより行う。

【0029】この再生手段の構成は、いわばSPM構成

によるものとし、上述の記録媒体の強誘電体膜の分極の反転領域と、非反転領域とでの針状電極ヘッドすなわちカンチレバーとのクーロン相互作用の相違を利用することによって行う。すなわち、局所的な表面電位を計測することにより分極が反転している領域と、非反転領域との静電容量の変化量として、記録された情報を針状電極ヘッドの非接触状態で検出することによって記録情報の再生を行う。

【0030】更に、具体的に本発明装置における記録、消去、再生について説明する。強誘電体膜に例えば10Vの電圧を印加することにより、分極の方向を一定方向に揃え、次に、導電性カンチレバーに例えば-9Vのパルス電圧を印加することにより、上述したように、強誘電体膜の分極の向きを反転させて、空間電荷層を“蓄積状態”または“空乏状態”にして情報の記録を行う。

【0031】次に、7Vのパルス電圧を印加することにより、分極の向きを反転させて情報の消去を行う。しかしながら、本発明においては、情報のいわゆるオーバーライトが可能であるので、この消去は必ずしも要するものではない。

【0032】情報の再生には、記録媒体中での分極の向きが局所的に反転した領域と反転していない領域とでの空間電荷層の“蓄積状態”と“空乏状態”との静電容量の変化量または表面電位量の変化量として検出することによって再生する。

【0033】尚、上述の記録および消去は、20V以下の例えば10V以下で可能であり、材料すなわち材料特性、厚さ等のパラメータを最適化することにより、5V以下が充分可能であり、また2 μm 以下の記録ヘッドの接触面積では、強誘電体膜の分極反転に必要な時間は1ns程度であることが測定されており、更に本発明装置においては、1 μs 以下の分極反転および空間電荷層のスイッチング時間を達成できた。また、高速の容量変化量の検出も可能であり、1MHz以上の高速再生もできた。また、記録領域として直径50~100nm程度での高密度記録ができた。

【0034】本発明装置の記録、消去機構と、再生機構の具体例を説明する。

【0035】〔記録、消去機構〕図3は記録、消去機構の一例の概略構成図を示す。この記録ヘッド H_R は、先端に例えば円錐状、三角錐状、断面例えば三角の柱状等の実質的に記録媒体に対して点接触できる針状電極21が形成された例えば短冊状の板バネ構成を有し、一端が固定されたカンチレバー22によって構成される。このカンチレバー22は、バネ定数0.01~1[N/m]のSiもしくはSiNよりなりその表面にAu、Pt、Co、Ni、Ir、Cr等の単層ないしは多層構造の金属層が被覆されることによって高い導電性が付与されて成る。このカンチレバー22は、いわゆるマイクロファブリケーション技術によって作製した。

【0036】30は、記録媒体10が載置され、その面方向に沿って例えば互いに直交するx軸およびy軸に関して移動するように、もしくは回転するようになされた記録媒体10の載置台であり、この載置台30は更に記録ヘッドすなわちカンチレバー22の針状電極との接触状態を調整できるように記録媒体10の面方向と垂直方向（以下z軸方向という）に移動制御できるように構成される。

【0037】この載置台30のz軸方向の制御は、例えば、半導体レーザー38からのレーザー光を、収束レンズ系31によって収束させてカンチレバー22の先端に照射し、その反射光を例えば複数の分割フォトダイオードによる光検出器32によって差動検出し、その検出信号をプリアンプ33を通じて、載置台30のz軸制御を行うサーボ回路34に入力して載置台30のz軸方向の位置を制御することによって、常時記録媒体10に対して、記録ヘッドすなわち針状電極21が、最適な接触状態にあるように制御される。

【0038】一方、カンチレバー22と記録媒体10の下部電極9との間に、記録信号に応じた電圧が印加される。この印加電圧は、記録信号に応じたパルス電圧発生回路35よりのパルス電圧を直流電源36による所要の直流バイアス電圧に重畳して印加する。

【0039】このようにして、記録媒体10に、カンチレバー22の先端の針状電極21すなわち記録ヘッドを接触させた状態で相対的に移行させてパルス電圧を印加することにより情報の記録を行う。

【0040】〔再生機構〕記録媒体10からの記録情報の読み出しすなわち再生は、再生ヘッドの非接触状態で行う。この再生は、走査型マックスウェル応力顕微鏡（SMM: Scanning Maxwell Stress Microscope）構成とした。図4は、この再生ヘッドH_p およびその制御装置の構成図を示す。

【0041】この再生ヘッドH_p は、図3で説明した記録ヘッドH_R 自体を用いることができるが、この再生ヘッドH_R は記録媒体10に対して非接触状態で用いられ

る。すなわち、前述したと同様に、先端に例えば円錐状、三角錐状、断面例えば三角の柱状等の実質的に針状の電極21が形成された例えば短冊状の板バネ構成を有し、一端が固定されたカンチレバー22によって構成される。このカンチレバー22は、前述した載置台30上に載置された記録媒体10に非接触な状態で記録媒体10の表面電圧V_sの検出すなわち記録情報の再生がなされる。

【0042】この載置台30は、前述したようにこれに載置された記録媒体10の面方向に沿って例えば互いに直交するx軸およびy軸に関して移動するように、もしくは回転するようになされ、更に再生ヘッドH_p としてのカンチレバー22の針状電極21との間隔を調整できるように記録媒体10の面方向と直交する方向（以下z軸方向という）に移動制御できるように構成される。

【0043】記録媒体10の表面電圧V_sの検出すなわち記録情報の再生は、SMMで知られている動作原理（例えばMolecular Electronics and Bioelectronics, vol.3 p79(1992)参照。）によってなされる。すなわち、再生ヘッドすなわち針状電極21を有するカンチレバー22と記録媒体10との間にバイアス電圧Vを印加すると、静電結合により針状電極21と、記録媒体との間に（数1）で与えられる力F_z が働く。

【0044】

〔数1〕

$$F_z = - \frac{1}{2} \left(\frac{\partial C}{\partial Z} \right) V^2 \quad \dots (1)$$

（ここでCは電極21と媒体10との間の静電容量、Zは電極21と媒体10との間の距離。）

今、媒体10の表面電位をV_sとし、

$$V_{AC} \cdot \sin \omega t + V_{off}$$

で与えられるバイアス電圧を印加すると、力F_z は次式（数2）のようになる。

【0045】

〔数2〕

$$\begin{aligned} F_z &= - \frac{1}{2} \left(\frac{\partial C}{\partial Z} \right) (V_{AC} \cdot \sin \omega t + V_{DC})^2 \\ &= - \frac{1}{2} \left(\frac{\partial C}{\partial Z} \right) \{ V_{DC}^2 + 2 \cdot V_{DC} \cdot V_{AC} \cdot \sin \omega t + \frac{1}{2} V_{AC}^2 \cdot (1 - \cos 2\omega t) \} \\ &\dots (2) \end{aligned}$$

但し、（V_{DC} = V_{off} + V_s）

【0046】これによってカンチレバー22は力F_z を受けて振動する。一方カンチレバー22の先端に、半導体レーザー43からのレーザー光を照射し、その反射光

をフォトダイオード等の光検出器44によって検出する。この光検出器44によって得られる検出信号Aは、次式（数3）で表すことができる。

【0047】

【数3】

$$\begin{aligned}
 A &= -a \left(\frac{\partial C}{\partial Z} \right) \{ V_{DC}^2 + 2 \cdot V_{DC} \cdot V_{AC} \cdot \sin \omega t \\
 &\quad + \frac{1}{2} V_{AC}^2 \cdot (1 - \cos 2\omega t) \} \\
 &= -a \left(\frac{\partial C}{\partial Z} \right) V_{DC}^2 - a_w \left(\frac{\partial C}{\partial Z} \right) V_{DC} \cdot V_{AC} \\
 &\quad \cdot \sin \omega t - a_{zw} \left(\frac{\partial C}{\partial Z} \right) V_{AC}^2 \\
 &\quad \cdot (1 - \cos 2\omega t) \} \\
 &= a \left(\frac{\partial C}{\partial Z} \right) V_{DC}^2 + a_w \cdot A_w + a_{zw} \cdot A_{zw} \\
 &\quad \dots (3)
 \end{aligned}$$

但し、 a は定数

【0048】この検出信号は、ロックインアンプ45に入力され、ここで、 2ω 成分の出力(数4)を取り出す。

【0049】

【数4】

$$\overline{A_{zw}} = - \left(\frac{\partial C}{\partial Z} \right) V_{AC}^2 \quad \dots (4)$$

【0050】この 2ω 成分による出力は、載置台30の z 軸方向の位置制御を行うサーボ回路46に入力し、これによって載置台30の z 軸方向の位置制御を行ってこの 2ω 成分による出力が一定になるようになされる。 2

$$\begin{aligned}
 \overline{A_w} &= - \left(\frac{\partial C}{\partial Z} \right) V_{DC} \cdot V_{AC} \\
 &= - \left(\frac{\partial C}{\partial Z} \right) (V_{off} + V_z) \cdot V_{AC} \quad \dots (5)
 \end{aligned}$$

【0054】これは媒体10の表面電位 V_s にのみ依存することになる。つまり、これが記録媒体10の表面電位分布に対応した出力となる。そして、このとき、この出力が $\partial C / \partial z$ の大きさによって変わることのないように、さらに、 ω 項がゼロになるように ω 成分出力を V_{off} の制御回路47にフィードバックして V_{off} の制御を行って $\partial C / \partial Z$ の大きさによる影響を排して、 $V_{off} + V_s = 0$ すなわち $V_s = -V_{off}$ とする。このようにすれば V_s 、言い換えれば、記録媒体10の表面電荷層に基づく表面電位分布として生じる記録情報を読み出すことができる。

【0055】通常のSMMでは、周波数特性はカンチレバーの共振周波数によって限定されるが、ヘテロダイン

ω 成分は静電容量の微分信号であり、 2ω を一定に制御することにより、誘電率を一定に仮定すれば、カンチレバー22の針状電極21と記録媒体との距離を一定に制御できる。

【0051】このときの載置台30の z 軸の制御信号を画像化すると、記録媒体10の表面形状の情報が得られることになる。

【0052】また、このとき同時に ω 成分の出力(数5)をロックインアンプ45で取り出す。

【0053】

【数5】

検出法を用いることによりカンチレバーよりも高い周波数帯域での表面電位の検出が可能となる。このため再生ヘッドの周波数特性は、MHz帯域までの応答が可能となる。

【0056】次に、本発明装置の実施例を説明する。

〔実施例1〕この実施例における記録媒体10は、図5にその概略断面図を示すように、半導体基板11としての単結晶Si基板の一主面上に、スパッタリングによって下地層9としての $SrTiO_3$ バッファ層(下地層)を厚さ30nmに成膜し、その後、酸素雰囲気中で650℃の熱処理を行った。このようにして成膜された $SrTiO_3$ バッファ層(下地層)は、基板11に良く整合して結晶性にすぐれたバッファ層として形成された。こ

のバッファ層(下地層)9上に、MOCVD法でPb(Zr, Ti)O₃(PZT)を厚さ300nmに成膜して活性層13すなわち強誘電体膜を形成した。このように、形成されたPZT膜による強誘電体膜(活性層)13は、ペロブスカイト型の結晶構造を示し、高密度で微細なグレインを有している。すなわち、上述の方法によって形成された熱処理後のSrTiO₃バッファ層(下地層)9は、ペロブスカイト型結晶構造となり、格子定数も近いため、PZT成膜時すなわち結晶成長に際しての有効な初期核として働く。つまり、PZT成長用の基板として用いることができるものである。また、基板11の裏面には、オーミックに下部電極層12が形成される。

【0057】このPZTの特徴は、残留分極Prの2倍(2Pr)の値は、40~60μC/cm²である。また、分極値を0とする電圧である抗電圧は2V以下である。PZTの疲労は、作製法の最適化およびバッファ層の挿入により改善され、10¹¹回の分極反転でも残留分極値の減少は認められない。データの書き換え時間は電極面積に比例し、2μm×2μmで2nsとなる。

【0058】この強誘電体膜による活性層13を有する記録媒体10に対する記録は、前述した図3の記録ヘッドH_Rによって行う。すなわち、記録媒体10を、移動載置台30上に配置し、この強誘電体膜に、針状電極21を、いわば点接触させて、載置台30を移動させて記録媒体10上に針状電極21を走査しつつ記録情報に基づいてパルス電圧を印加して、強誘電体膜に局部的に分極反転を生じさせて情報の記録を行う。

【0059】記録媒体10からの記録情報の読み出しすなわち再生は、図4で説明したように、記録媒体10の強誘電体膜(活性層)13の表面電荷層の分布を表面電位V_sの分布としてその検出によって行う。

【0060】この記録媒体の電圧分極特性を評価した。これは、強誘電体材料特有のヒステリシス特性を示した。この場合の残留分極Prの2倍(2Pr)の値は40μC/cm²、抗電圧は約1.5Vであった。このように、SrTiO₃/Si基板のPZT薄膜は、良好なヒステリシス特性を示す強誘電体膜であることが分かる。

【0061】次に、この実施例1における記録消去再生特性を示す。まず、3μm×3μmの領域に、9Vの直流電圧を印加してPZT薄膜の自発分極の方向を一方に揃える。次に、-7Vのパルス逆電圧をヘッドすなわち針状電極21から印加して、自発分極に起因する空間電荷層の状態を、“蓄積状態”から“空乏状態”に、もしくはその逆の“蓄積状態”から“空乏状態”として、情報に応じた局所的な空間電荷層の分布を形成する。次に、図4のSMM構成による再生手段によってPZT膜の局所的な分極の向きに起因する空間電荷層の差の分布を表面電位の分布として検出すなわち再生する。

【0062】SMMによってパルス電圧を印加した記録媒体の表面形状と表面電位を検討した。このときの、SMM像のスキャンエリアは、5μm×5μmとした。まず3μm×3μmの部分のコントラストが暗くなっており、その周辺と比較して分極が反転してPZTの自発分極が一方に反転して空間コントラストが明るいスポットの部分の部分が観察された。これは-7Vの逆電圧によって分極の向きの反転に起因した空間電荷層の状態の反転している部分に対応している。

【0063】この分極の向きの差、すなわち空間電荷層の2種類の状態すなわち“蓄積状態”または“空乏状態”に起因するクーロン相互作用の差は、表面電位差で約50mVであり、SMMの電位分解能が1mVであることから、Si基板空間電荷層の“蓄積状態”と“空乏状態”との静電容量の変化量は表面電位の変化量として、記録された情報を非接触状態で再生することができることが分かった。

【0064】また、-9Vを先に記録媒体に印加した後、+7Vのパルス電圧をかけた場合、すなわち、上記とは反対の極性の電圧を印加した場合、SMMの電位分布で観察される画像のコントラストも逆転していることが分かった。すなわち、PZTの分極の局所的な反転の方向に起因する空間電荷層の状態が反対になっていることがわかる。また、オーバーライト特性も有することが分かった。

【0065】このことから、強誘電体材料薄膜記録媒体の局所的な分極の向きに起因した空間電荷層の状態がカンチレバー記録ヘッドよりのバイアス電圧印加により電界の方向に揃うことが示された。この2種類の局所的な分極の向きに起因するSi基板表面の空間電荷層の“蓄積状態”と“空乏状態”とをデジタルデータのストレージの“0”と“1”に対応させて情報を記録再生消去することができる。すなわち、コントラストの明るい部分と暗い部分でデジタルデータの“0”と“1”に対応させることにより高密度記録ができる。

【0066】面記録密度の目安となる記録スポットの直径は、種々の実験の結果、100nm以下にすることが可能であることが分かった。また、分極反転に起因する空間電荷層の“蓄積状態”と“空乏状態”とのスイッチング時間も1μsよりの小さいことが分かった。また、情報を局所的に分極の向きが反転した領域に記録した場合、情報は充分安定に長時間保持されることが確認された。

【0067】上述したところから、実施例1が、目的とする高密度記録再生装置として十分な機能をもっていることが分かった。

【0068】〔実施例2〕実施例1と同様の構成によるが、図6にその概略断面図を示すように、実施例1における強誘電体膜すなわち活性層13を構成するPZTにかえて、Laを一定量ドーパのPb(La, Zr, T

i) O_3 (PLZT) によって構成した。PLZTは、Laを一定量加えた材料で、このPLZTは、PZTの酸素空孔がLaで置換されているため、PZTと比較してリーク電流特性が1桁改善されていることを特徴としている。

【0069】また、このPLZTは、分極反転の疲労特性の少ない材料であり、残留分極のPrの2倍 ($2P_r$) の値は $30 \sim 50 \mu\text{C}/\text{cm}^2$ 、抗電圧は約2V以下であった。データの保持時間は、室温で10年以上である。データの書き換え時間は、電極面積に比例することが実験的に確認されており、 $2 \mu\text{m} \times 2 \mu\text{m}$ で5ns以下となる。また、そのスイッチング特性も極めて速い。或るデータを連続して書き込んだ後、異なるデータを書き込んだ場合の信頼性も高い。

【0070】このPLZTによる強誘電体活性層13の形成は、実施例1におけると同様に、Si基板11上に厚さ30nmで形成した SrTiO_3 により形成され、熱処理された SrTiO_3 バッファ層上にMOCVD法によってLaを10モル%加えたPLZT膜を300nmに成長させた。この場合においても、このPLZTは、ペロブスカイト型の結晶構造を有し、高密度で微細のグレインを有していることが確認された。

【0071】この記録媒体の分極の電圧依存性により、PLZTはヒステリシス特性を有し、強誘電体に特有の特性を示した。この実施例2における場合の残留分極の2倍 ($2P_r$) は $40 \mu\text{C}/\text{cm}^2$ 、抗電圧は1.5Vであった。

【0072】この実施例2の記録媒体に対しても、実施例1におけると同様に図3および図4で説明した構成によって、記録消去再生を行うことができる。

【0073】次に、この実施例2における記録消去再生特性を示す。この場合においても、まず、 $3 \mu\text{m} \times 3 \mu\text{m}$ の領域に、9Vの直流電圧を印加してPLZT薄膜の自発分極の方向を一方向に揃える。次に、-7Vのパルス逆電圧をヘッドすなわち針状電極21から印加して、自発分極に起因する空間電荷層の状態を、“蓄積状態”から“空乏状態”に、もしくはその逆の“空乏状態”から“蓄積状態”として、情報に応じた局所的な空間電荷層の分布を形成する。次に、図4のSMM構成による再生手段によってPLZT膜の局所的な分極の向きに起因する空間電荷層の差の分布を表面電位の分布として検出すなわち再生する。

【0074】実施例1と同様に、SMMによって表面電位分布を評価した結果、 $3 \mu\text{m} \times 3 \mu\text{m}$ の部分のコントラストが暗くなっている、その周辺と比較して分極の反転に起因した空間電荷層の状態が反転して一方の状態に揃っていることが分かった。のコントラストが暗い部分の中に明るいスポットが観測された。これは、-7Vの逆電圧によって空間電荷層の状態が周囲と反対になっていることを示す。強誘電体の特徴として分極の向きに起

因した空間電荷層の状態が局所的に電界の方向に揃うことが示された。また、オーバーライト記録も可能であることが分かった。この2種類の分極の向きに起因して生じる空間電荷層の“蓄積状態”と“空乏状態”をデジタルデータの0と1のストレージに対応させることができることが分かった。すなわち、コントラストの明るい部分と暗い部分でデジタルデータの0と1に対応させた高密度記録が可能になることが分かった。

【0075】種々の実験の結果、微小スポットの直径を100nm以下にすることが可能であることが分かった。

【0076】また、局所的に分極の反転に起因した空間電荷層の局所的な領域は充分安定に保持されることが分かった。

【0077】以上のことから、この実施例2に関しても、高密度記録再生装置として充分な機能を有することが分かった。

【0078】〔実施例3〕実施例1と同様の構成によるが、図7にその概略断面図を示すように、この実施例では、記録媒体の活性層13を、PZT ($\text{Pr}(\text{Zr}, \text{Ti})\text{O}_3$) 強誘電体膜とし、下地層のバッファ層9を CeO_2 膜によって構成した。

【0079】この CeO_2 膜によるバッファ層は、実施例1および2における SrTiO_3 によるバッファ層と同様の特性および効果を具備する。

【0080】PZTの特性については、バッファ層の最適化により、実施例1で詳述したと同様である。

【0081】この実施例においては、Si基体11上に熱酸化によって SiO_2 膜9Aを10nmの厚さに形成し、これの上に CeO_2 膜9Bを30nmの厚さに蒸着した2層構造の下地層9すなわちバッファ層を形成した。そして、この CeO_2 膜9B上に、PZT強誘電体膜による活性層13を、厚さ300nmに成膜した。この場合、 CeO_2 膜9Bが、PZT強誘電体膜の結晶成長の基板結晶として作用し、成膜されたPZT強誘電体膜は、ペロブスカイト型の結晶構造を有し、高密度で微細なグレインを有していることが分かった。

【0082】この実施例における記録媒体の分極の電圧依存性により、PZTはヒステリシス特性を有し、強誘電体に特有な特性を示した。残留分極の2倍 ($2P_r$) は $40 \mu\text{C}/\text{cm}^2$ 、抗電圧は1.5Vであった。

【0083】この実施例3の記録媒体に対しても、実施例1におけると同様に図3および図4で説明した構成によって、記録消去再生を行うことができる。

【0084】次に、この実施例3における記録消去再生特性を示す。この場合においても、まず、 $3 \mu\text{m} \times 3 \mu\text{m}$ の領域に、9Vの直流電圧を印加してPLZT薄膜の自発分極の方向を一方向に揃える。次に、-7Vのパルス逆電圧をヘッドすなわち針状電極21から印加して、自発分極に起因する空間電荷層の状態を、“蓄積状態”

から“空乏状態”、もしくはその逆の“空乏状態”から“蓄積状態”として、情報に応じた局所的な空間電荷層の分布を形成する。次に、図4のSMM構成による再生手段によってPZT膜の局所的分極の向きに起因する空間電荷層の差の分布を表面電位の分布として検出すなわち再生する。

【0085】実施例1と同様に、SMMによって空間電位分布を評価した結果、 $3\mu\text{m}\times 3\mu\text{m}$ の部分のコントラストが暗くなっている、その周辺と企画して分極の反転に起因した空間電荷層の状態が反転して一方の状態に揃っていることが分かった。このコントラストが暗い部分の中に明るいスポットが観測された。これは、 -7V の逆電圧によって空間電荷層の状態が周囲と反対になっていることを示す。強誘電体の特徴として分極の向きに起因した空間電荷層の状態が局部的に電界の方向に揃うことが示された。また、オーバーライト記録も可能であることが分かった。この2種類の分極の向きに起因して生じる空間電荷層の“蓄積状態”と“空乏状態”をデジタルデータの0と1のストレージに対応させることができることが分かった。すなわち、コントラストの明るい部分と暗い部分でデジタルデータの0と1に対応させた高密度記録が可能になることが分かった。

【0086】また、種々の実験の結果、記録スポットすなわち単位記録領域の直径を 100nm 以下にすることが可能であることが分かった。分極反転のスイッチング時間も $1\mu\text{s}$ より小さいことが分かった。また、局所的に分極が反転した領域は充分安定に保持されることが分かった。

【0087】以上より、本実施例で高密度記録再生装置として充分な機能をもっていることが分かった。

【0088】〔実施例4〕この実施例では、記録媒体の強誘電体材料をBi層状化合物とした場合である。この記録媒体10は、図8にその概略断面図を示すように、Si基板11上に、下地層9としてBi層状化合物によるバッファ層を形成し、これの上にBi層状化合物の SrBiTiO 、 SrBiTaO 、 PbSrBiTiO 、 BaBiNbO を形成した。基板11の裏面には、オーミックに下部電極12を形成した。

【0089】このBi層状化合物は、分極反転を 10^{12} 回繰り返しても疲労が極めて小さい疲労特性にすぐれたものである。また、その残留分極Prの2倍(2Pr)の値は、 $15\sim 30\mu\text{C}/\text{cm}^2$ 、抗電圧は 2V 以下である。データ保持時間は室温で10年以上である。また、データの書き換え時間は電極面積に比例するが、 $2\mu\text{m}\times 2\mu\text{m}$ で 1ns 以下となった。スイッチング特性も極めて速い。或るデータを連続して書き込んだ後、異なるデータを書き込んだ場合の信頼性も高い。

【0090】記録媒体10は、単結晶Si基板11上に、スパッタリング法でBi層状化合物の SrBiTiO のバッファ層(下地層)9を厚さ 30nm に形成す

る。その後、このバッファ層を酸素雰囲気中で熱処理する。この熱処理により、Si基板11上でも結晶性にすぐれたBi層状化合物の SrBiTiO のバッファ層9が形成される。次に、このバッファ層9上に、Bi層状化合物の $\text{SrBi}_2\text{Ta}_2\text{O}_9$ 膜による活性層13すなわち強誘電体層を、MOCVD法によって厚さ 300nm に結晶成長する。この場合結晶成長した $\text{SrBi}_2\text{Ta}_2\text{O}_9$ 膜は、高密度で微細なグレインを有する膜となった。すなわち、上述の熱処理後のバッファ層がこれの上に成長させる $\text{SrBi}_2\text{Ta}_2\text{O}_9$ 膜の初期核として有効に働くものである。

【0091】この実施例における記録媒体の分極の電圧依存性により、 $\text{SrBi}_2\text{Ta}_2\text{O}_9$ はヒステリシス特性を有し、強誘電体に特有な特性を示した。残留分極の2倍(2Pr)は $20\mu\text{C}/\text{cm}^2$ 、抗電圧は 1.0V であった。

【0092】この実施例4の記録媒体に対しても、実施例1におけると同様に図3および図4で説明した構成によって、記録消去再生を行うことができる。

【0093】次に、この実施例4における記録消去再生特性を示す。この場合においても、まず、 $3\mu\text{m}\times 3\mu\text{m}$ の領域に、 9V の直流電圧を印加して $\text{SrBi}_2\text{Ta}_2\text{O}_9$ 薄膜の自発分極の方向を一方に揃える。次に、 -7V のパルス逆電圧をヘッドすなわち針状電極21から印加して、自発分極に起因する空間電荷層の状態を、“蓄積状態”から“空乏状態”、もしくはその逆の“空乏状態”から“蓄積状態”として、情報に応じた局所的な空間電荷層の分布を形成する。次に、図4のSMM構成による再生手段によって $\text{SrBi}_2\text{Ta}_2\text{O}_9$ 膜の局所的な分極の向きに起因する空間電荷層の差の分布を表面電位の分布として検出すなわち再生する。

【0094】実施例1と同様に、SMMによって空間電位分布を評価した結果、 $3\mu\text{m}\times 3\mu\text{m}$ の部分のコントラストが暗くなっている、その周辺と企画して分極の反転に起因した空間電荷層の状態が反転して一方の状態に揃っていることが分かった。このコントラストが暗い部分の中に明るいスポットが観測された。これは、 -7V の逆電圧によって空間電荷層の状態が周囲と反対になっていることを示す。強誘電体の特徴として分極の向きに起因した空間電荷層の状態が局部的に電界の方向に揃うことが示された。また、オーバーライト記録も可能であることが分かった。この2種類の分極の向きに起因して生じる空間電荷層の“蓄積状態”と“空乏状態”をデジタルデータの0と1のストレージに対応させることができることが分かった。すなわち、コントラストの明るい部分と暗い部分でデジタルデータの0と1に対応させた高密度記録が可能になることが分かった。

【0095】また、種々の実験の結果、単位記録領域の直径を 100nm 以下にすることが可能であることが分かった。また、分極反転に起因した空間電荷層の“蓄積

状態”と“空乏状態”との領域は充分安定に保持されることが分かった。

【0096】また、この実施例における記録再生装置も高密度記録再生装置として充分な機能をもっていることが分かった。

【0097】〔実施例5〕この実施例では、実施例4におけるバッファ層および活性層としての強誘電体膜の SrBiTaO に代えて、 SrBiNbO で構成し、その活性層の強誘電体膜を $\text{SrBi}_2\text{Nb}_2\text{O}_9$ によって構成した。この実施例5においても、実施例4と同等の特性が得られた。

【0098】〔実施例6〕この実施例では、活性層の強誘電体膜をフッ化ビニリデンとトリフルオロエチレン(VDF-TrFE)共重合体薄膜によって構成した。この場合、図9にその概略断面図を示すように、Si基板11の一主面に、基板11の表面熱酸化によって厚さ20nmの下地層9を形成し、これの上に活性層13すなわち強誘電体膜として蒸着法またはスピンコート法でVDF-TrFE共重合体薄膜を300nmの厚さに形成した。この共重合体薄膜は、フッ化ビニリデンの含有量が50%以上で強誘電性を示す。

【0099】この実施例においても図3及び図4で説明した記録および再生の構成によった。

【0100】次に、この実施例6の記録消去再生特性を示す。まず、 $5\mu\text{m}\times 5\mu\text{m}$ の領域に20Vの電圧をその強誘電体膜に印加して自発分極の方向を一方向に揃える。次に、-10Vの逆電圧を印加して、局所的に分極の向きを反転させる。次に、SMMを用いて分極の向き分布を評価した結果、 $5\mu\text{m}\times 5\mu\text{m}$ の部分のコントラストが暗くなっており、その周辺と比較して分極反転に起因して生じる空間電荷層の“蓄積状態”または“空乏状態”に揃っていることが分かった。このコントラストが暗い部分の中に明るいスポットが観測された。これは、-7Vの逆電圧によって空間電荷層の状態が周囲と反対になっていることを示す。強誘電体の特徴として分極の向きに起因した空間電荷層の状態が局部的に電界の方向に揃うことが示された。また、オーバーライト記録も可能であることが分かった。この2種類の分極の向きに起因して生じる空間電荷層の“蓄積状態”と“空乏状態”をデジタルデータの0と1のストレージに対応させることができることが分かった。すなわち、コントラストの明るい部分と暗い部分でデジタルデータの0と1に対応させた高密度記録が可能になることが分かった。

【0101】また、種々の実験の結果、単位記録領域の直径を100nm以下にすることが可能であることが分かった。また、分極反転に起因した空間電荷層の“蓄積状態”と“空乏状態”との領域は充分安定に保持されることが分かった。

【0102】また、この実施例における記録再生装置も

密度記録再生装置として充分な機能をもっていることが分かった。

【0103】上述したように、本発明装置においては、記録および再生において、図3および図4で示した記録および再生ヘッドは、互いに共通の導電性カンチレバーによる共通のヘッド構成とすることができ、或る場合は、これら記録および再生ヘッドを、それぞれ別のすなわち2種の導電性カンチレバーによって構成することもできる。この場合の実施例を説明する。

【0104】〔実施例7〕この実施例では、記録再生を行うヘッドが記録ヘッドと再生ヘッドから構成されている。これらはAFM装置制御された2種類の導電性カンチレバーによって構成し、その記録ヘッドと再生ヘッドの役割を分離した。この場合、記録ヘッドは消去ヘッドを兼ね、記録媒体に接触させた状態で制御した。

【0105】一方、再生ヘッドは、その先端の曲率半径を小さくして、電位分布の空間分解能を向上させた。このヘッドの先端すなわちメタルコートさせた導電性カンチレバーの先端の曲率半径は、30nm以下が望ましい。また、再生用ヘッドのカンチレバーは記録媒体10に非接触状態で、記録および再生それぞれ独立に制御した。

【0106】これら、記録および再生ヘッドの2種類の導電性カンチレバーによって実施例1における記録媒体に対して記録および再生を行った。その結果、その記録再生特性は、実施例1と同様の結果が得られた。

【0107】種々の実験の結果、再生用のカンチレバーの先端の曲率半径は、実施例1の場合より小さくしたため、記録スポットの直径を60nm以下にすることができ、ことが分かった。

【0108】また、分極反転に起因した空間電荷層の“蓄積状態”と“空乏状態”のスウィッチング時間は1 μs より短くすることができた。

【0109】また、局所的に反転した空間電荷層の領域は充分安定に保持されることが分かった。

【0110】これらのことから、実施例7においても高密度記録再生装置として充分な機能を有することが確認できた。

【0111】尚、この実施例においては、実施例1で用いた記録媒体を用いたが、他の実施例をはじめとする各種強誘電体材料による記録媒体を適用しても、本発明の本質は変わらない。

【0112】〔実施例8〕この実施例では、記録媒体がディスク状とされ、これを回転して記録再生を行った。この例では、実施例7で説明した記録再生装置におけるように、2種類のカンチレバーによる記録再生ヘッドを用いた。また、その記録媒体は、実施例1で用いた記録媒体によった。

【0113】そして、これによって記録再生を行った。その結果、記録媒体を回転させた状態での記録再生特性

は実施例1と同様であった。

【0114】種々の実験の結果、記録スポットすなわち単位記録領域の直径を100nm以下にすることができ、また分極反転に起因する空間電荷層の“蓄積状態”と“空乏状態”のスイッチング時間は、1 μ sより小であることが分かった。

【0115】また、この実施例においても、実施例1で用いた記録媒体に限られるものではなく、他の実施例をはじめとする各種強誘電体材料による記録媒体を適用しても、本発明の本質は変わらない。

【0116】上述の各実施例を始めとして、本発明装置における記録媒体は、その最上部に保護層を付加した場合、記録再生装置および記録媒体の信頼性がより向上した。

【0117】上述したように本発明装置によれば、記録密度の向上、スイッチング記録再生速度の高速化がはかられた。この本発明による高密度記録再生装置は、従来に比較して1桁以上大きな20Gb/inch²以上の高記録密度を実現できるものである。

【0118】尚、上述したように本発明装置においては記録、再生ヘッドが針状電極を有する構成とするものであるが、この針状電極の機械的強度を補強するなどの目的で針状電極の周囲に絶縁体を配するなど上述の各実施例に限られず、種々の変更を行うことができる。

【0119】また、本発明による記録再生装置は、記録および再生の双方の機能を有する構成とすることもできるし、記録機能がなく、上述の記録方法で記録されている情報を再生する機能を有する構成とすることもできる。

【0120】

【発明の効果】上述したように、本発明によれば、極めて優れた記録密度、高速なスイッチング速度を有するため、従来技術と比較して格段に優れた高密度記録再生装置が実現された。したがって、高度情報化社会に必要とされる大容量で高速なアクセスが必要とされる画像情報

のストレージ、ハイビジョン放送などの画像の記録およびコンピュータにおける大容量なデータの記録に有効な記録再生装置となるものである。

【0121】また、その再生は、ヘッドの非接触状態で行うことから、ヘッドおよび記録媒体の損耗を回避できる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明装置における記録媒体の基本構成を示す概略断面図である。

【図2】本発明装置における記録媒体の静電容量の電圧依存性を示す図である。

【図3】本発明装置の情報記録構成の一例を示す図である。

【図4】本発明装置の情報再生構成の一例を示す図である。

【図5】本発明装置における記録媒体の一例の概略断面図である。

【図6】本発明装置の一例の記録媒体の一例の概略断面図である。

【図7】本発明装置の一例の記録媒体の一例の概略断面図である。

【図8】本発明装置の一例の記録媒体の一例の概略断面図である。

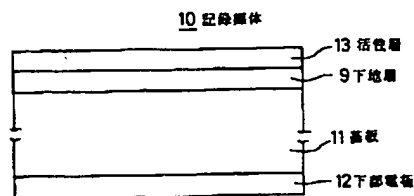
【図9】本発明装置における記録媒体の一例の概略断面図である。

【図10】従来の記録媒体の概略断面図である。

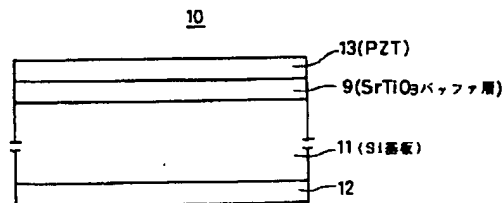
【符号の説明】

- 9 下地層
- 10 記録媒体
- 11 基体
- 12 下部電極
- 13 活性層
- 21 針状電極
- 22 カンチレバー

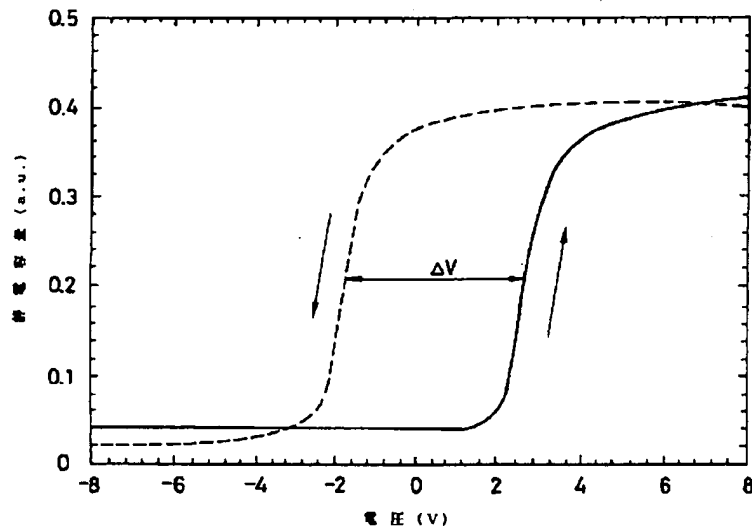
【図1】



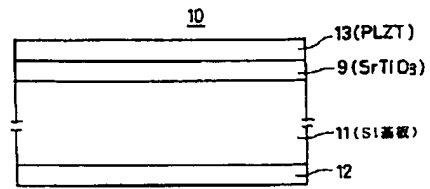
【図5】



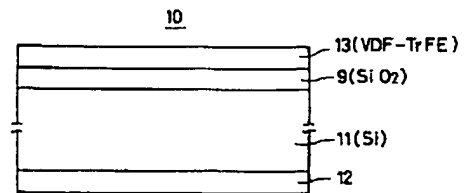
【図2】



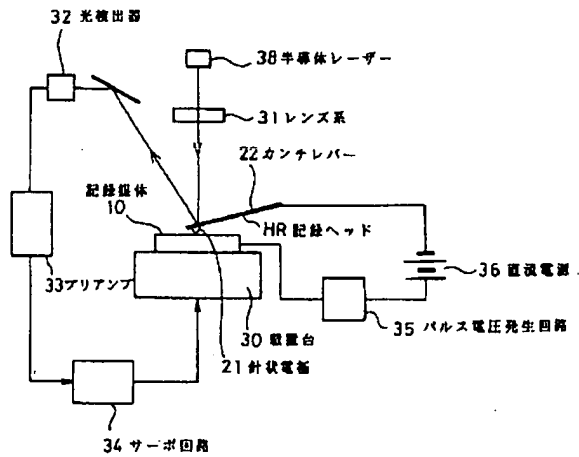
【図6】



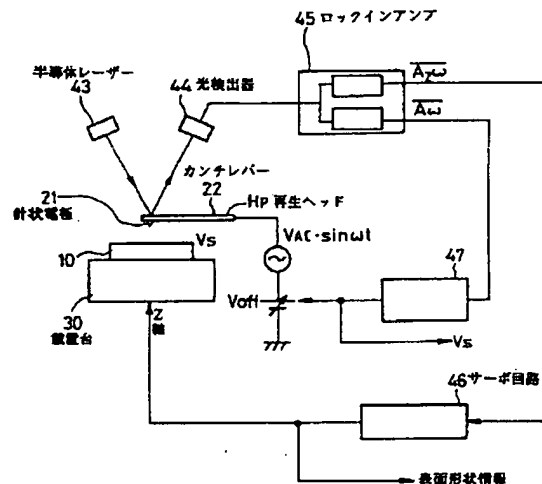
【図9】



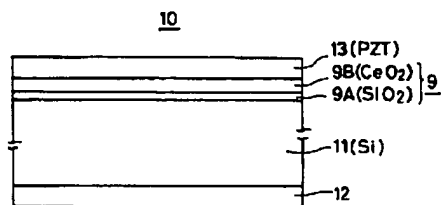
【図3】



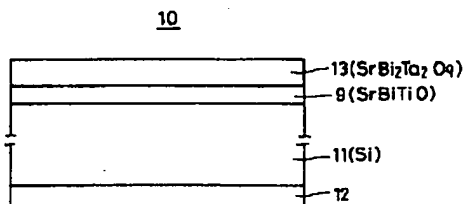
【図4】



【図7】



【図8】



【図10】

